

桜島・沖小島流紋岩
——K-Ar 年代および岩石学的特徴——

巽 好幸・井上 央

Rhyolite from Okogashima Island, Kagoshima Prefecture

—K-Ar ages and Petrological Characteristics—

By Yoshiyuki TATSUMI and Hisashi INOUE

Synopsis

Three fresh rhyolites drilled at Okogashima island, west of Sakurajima Volcano have been examined based on K-Ar age determination and petrological characteristics. The K-Ar ages obtained (0.25 ± 0.02 , 0.26 ± 0.03 and 0.38 ± 0.06 Ma) confirm that these magmas were active at the Pre-Caldera stage before the climactic eruption of Ito pyroclastic flows of 22 ka. Petrological features of the Okogashima rhyolites together with data for representative rocks within the Aira Caldera may suggest the anatexis of lower crustal amphibolite for production of large volume of felsic magmas closely related to the Caldera formation.

1. は じ め に

始良カルデラは、約22000年前、大隅降下軽石・妻屋火砕流・亀割坂角礫・入戸火砕流・始良-Tn 火山灰と呼ばれる総計 400 km^3 を超える珪長質な火山噴出物の短期間の噴出によって形成された陥没カルデラである¹⁾。この様な、カルデラ形成を伴う大規模珪長質マグマの発生のメカニズムは、沈み込み帯におけるマグマの成因論の中でも最も重要な課題の1つであろう。マグマの発生という立場に立てば、大規模珪長質マグマ成因論の最大の問題点は、何が融解してマグマが生産されたか、であろう。沈み込み帯で発生する他のマグマタイプである玄武岩質マグマは、マントルウェッジを構成するカンラン岩の部分融解生成物である事はほぼ確立された概念と言えるであろう（例えば、Tatsumi, 1989²⁾）。これらの玄武岩質マグマが結晶分化作用と、場合によっては地殻物質の混染作用を被ることによって、珪長質マグマを形成する事は可能である。しかしこのメカニズムでは、始良カルデラの場合、 400 km^3 以上の珪長質マグマよりさらに1桁多量の玄武岩質マグマが地殻内に存在していたことになり、島弧地殻の厚さを 30 km とするならば、相当異常な事件を想定しなければならない。この困難を避けるためには、マントル物質よりは珪長質であると考えられる下部地殻物質の融解、というメカニズムが可能であるが、現時点で、この説を強力に主張するに足るだけのデータ及び議論が揃っていることは言い難い。

現在我々は上記の視点に立って、大規模珪長質マグマの成因を明らかにする目的で「始良プロジェクト」を進行中である。このプロジェクトでは、カルデラ形成以前に噴出したマグマと、大規模カルデラの形成時のマグマの岩石学的特徴を明らかにすることを、第一段階の目標としている。何故ならば、始良カルデラで

は先カルデラ期にのみ玄武岩が存在し、これらと珪長質マグマの成因関係を解明する事が重要であると考えられるためである。今回は、先カルデラ噴出物と考えられている、沖小島流紋岩に対して、桜島火山観測所が行なったボーリングで得られた新鮮な試料について、K-Ar 年代・化学組成の決定を行なった結果を報告する。

2. 沖小島ボーリング

始良カルデラは Fig. 1 に示す様に鹿児島湾を取り囲む直径約 18.5 km の外縁を有し、中央火口丘である桜島火山は、カルデラ南端部に形成されている。沖小島は桜島の南西約 2 km に位置する周囲 1.5 km の島であり、従来の地質調査の結果から、先カルデラ噴出物である牛根流紋岩に相当する流紋岩で構成されると考えられてきた。しかし、地表部の岩石は風化が著しく、他の火山噴出物との地質学的な関係が不明であるため、この流紋岩の始良カルデラ形成に対する地質学的位置付けは不十分なものであった。

桜島火山観測所では、1992年に沖小島において 501.9 m のボーリング掘削を行なった。ボーリングで得られた試料は、岩相によって 3 種に区分することができる。即ち、最上部 8 m を構成する輝石安山岩、8~253.2 m を構成する流紋岩及び、それ以降の火山碎屑岩（凝灰岩・凝灰質泥岩～砂岩・凝灰角礫岩）である。最下部の火山碎屑岩には、明瞭な葉理の発達する部分があり、また流紋岩部の最下部 4.5 m では水冷破碎と考えられるガラス質流紋岩よりなるクリンカーが認められることから、沖小島流紋岩の噴出は水底で起こったものであると考えられる。最上部の輝石安山岩は、後に述べるように、斑晶鉱物の特徴やその量比から、桜島火山の噴出物とは考えられない。また、最下部の火山碎屑岩中には、火砕流堆積物と考えられる凝灰角礫岩を含まれている。

ボーリングで得られた流紋岩試料は、地表に分布するものに比べて一般に新鮮で、火山ガラスが変質・脱ハリ化していないものが多い。これらの中で、特に新鮮な試料を深度 9.2~9.6 m, 164.6~165 m, 249.1~249.5 m から採取した。最深部の試料は、溶岩のクリンカー部より採集した。

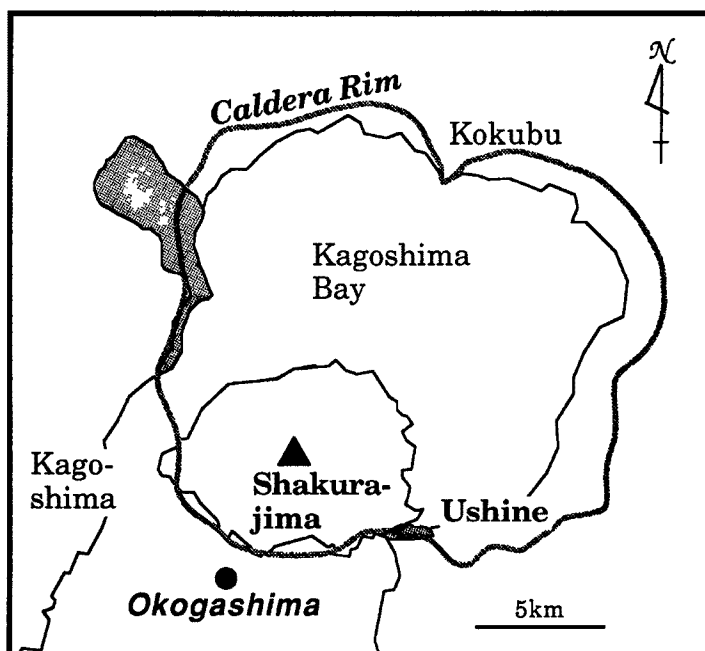


Fig. 1. Location of Okogashima island situated at the southern margin of the Aira Caldera. Volcanic rocks of the pre-caldera stage are shown by hatched areas.

3. 岩石記載・全岩化学組成・K-Ar 年代

最上位の輝石安山岩は、斑状組織を有し、斜長石・単斜輝石・斜方輝石・不透明鉱物の斑晶を含む。斜長石斑晶は最大 2 mm で、不透明鉱物・単斜輝石の包有物を含む。単斜輝石斑晶は、0.5~3 mm で、不透明鉱物・単斜輝石の包有物を含む。斜方輝石斑晶は 1.5 mm 以下で、不透明鉱物・斜長石・単斜輝石の包有物を含む。また集合斑晶が多く存在し、鉱物組み合わせは、斜長石のみ、単斜輝石のみ、斜長石+単斜輝石、単斜輝石+斜方輝石、斜長石+単斜輝石+斜方輝石である。桜島火山を構成する溶岩流は、この安山岩に比べて斑晶量が少なく、蜂の巣状斜長石斑晶の割合が高いなどの相違がある。従って、本安山岩が桜島火山の噴出物である可能性は小さい。

下部の流紋岩は、斑晶として斜長石・石英・普通角閃石・斜方輝石・不透明鉱物を含む。斜長石は最大 4 mm で、ガラス・不透明鉱物・普通角閃石を包有する。石英は 1.5 mm 以下で殆どのが融食形を呈する。普通角閃石は最大 4 mm で、オパサイト化したものもある。包有物として、不透明鉱物・斜長石・ガラスを含む。斜方輝石は 1 mm 以下で不透明鉱物を含む。石基は間粒状で、斜長石の間を普通角閃石・不透明鉱物・アパタイト・ガラスが埋めている。クリンカー部のサンプルはでは石基はハイアロピリティックである。斑晶鉱物の組み合わせや特徴から、従来の指摘通り牛根流紋岩と同一溶岩流と考えて問題ない。

3 試料について、蛍光 X 線分析装置を用いて主成分元素・微量成分元素の定量分析を行なった。分析法は後藤・巽 (1991³⁾, 1992⁴⁾) と同一である。分析結果を Table 1 に示す。何れの試料もほぼ同一の化学組織

Table 1. Major and trace element compositions of Okogashima rhyolites

	OKO-b1	OKO-b2	OKO-b3
SiO ₂	71.81	73.98	72.93
TiO ₂	0.24	0.24	0.24
Al ₂ O ₃	14.80	14.50	14.59
Fe ₂ O ₃ *	1.89	1.80	1.85
MnO	0.05	0.04	0.05
MgO	0.34	0.19	0.35
CaO	2.37	2.33	2.43
Na ₂ O	3.92	4.13	4.07
K ₂ O	2.72	2.74	2.68
P ₂ O ₅	0.07	0.07	0.07
Total	98.22	100.01	99.27
Ba	421	431	417
Nb	6	6	6
Ni	8	7	7
Pb	18	17	16
Rb	104	109	106
Sr	172	169	173
Th	11	10	10
Y	15	14	14
Zr	129	124	128

Fe₂O₃*; total iron as Fe₂O₃;

Major elements in wt% and trace elements in ppm.

有し（主成分元素含有総量が100 wt.% より少ない分は、 $H_2O(+)$ 即ち、試料中に含有される H_2O 量に相当する）、化学組成の点からも流紋岩と呼ぶことができる。マグマの分化過程を明らかにする目的で、 SiO_2 -変化図を Fig. 2 に示す。Fig. 2 には、今回得られた沖小島流紋岩の他に、後カルデラ火山活動として桜島溶岩類、カルデラ形成期として入戸火砕流中に含まれる本質軽石、沖小島以外の先カルデラ火山噴出物も示してある（井上、未公表データ）。これらのダイアグラム上では、始良カルデラに関連した岩石はほぼ1つのマグマ分化トレンドを形成している。また、沖小島流紋岩は、カルデラ形成期の火砕流を供給したマグマとほぼ同一の化学組成を有していることが判る。

同一試料について、岡山理科大学板谷研究室において K-Ar 年代測定を行なった。測定方法は、Nagano and Itaya (1988)⁵⁾ に従った。測定結果を Table 2 に示すが、繰り返し測定の結果得られた誤差も小さく、精度よい測定結果であるという事ができる。これらの試料について得られた K-Ar 年代は20~40万年であり、沖小島流紋岩が先始良カルデラ噴出物である事が確認された。

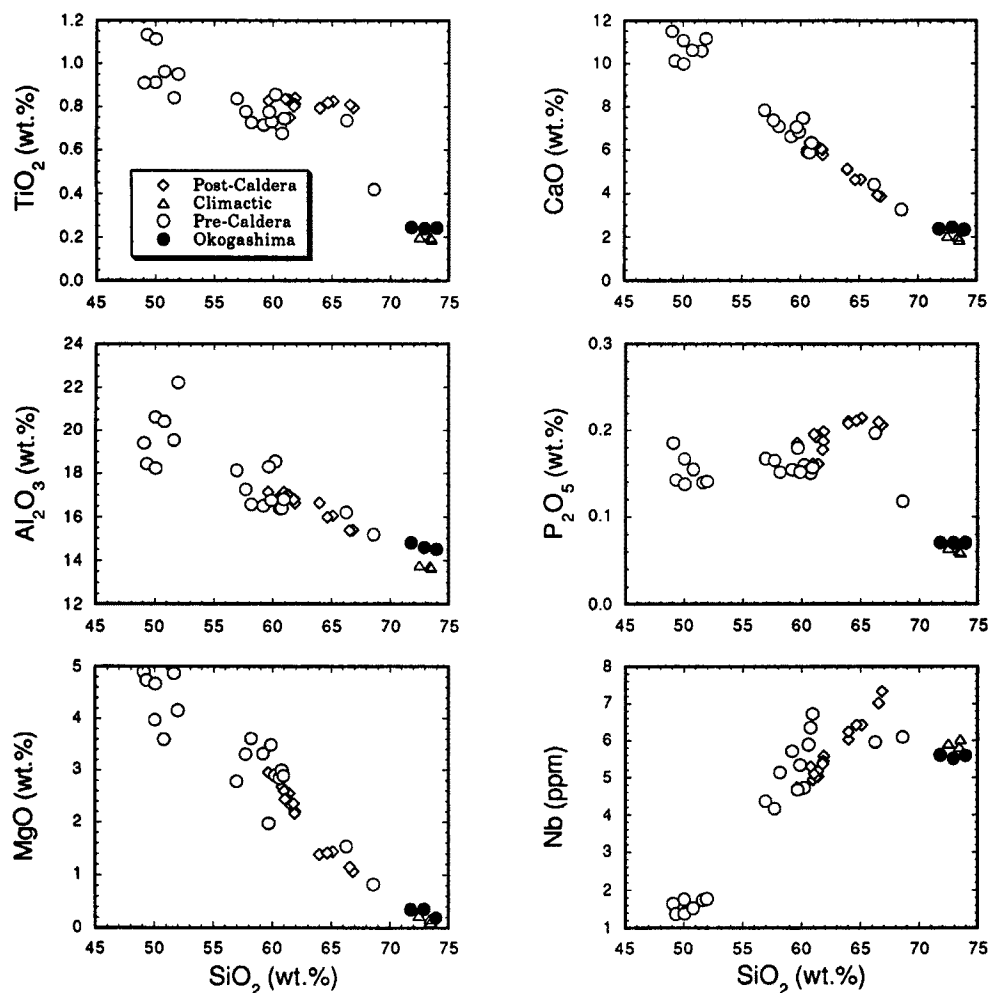


Fig. 2. SiO_2 variation diagrams for Okogashima rhyolites and rocks of pre-caldera, climactic, and post caldera stages. Compositions of Aira-related rocks may form a single differentiation trend.

Table 2. Results of K-Ar dating for Okogashima rhyolites.

Number of Specimen	Numbers in Laboratory	K ₂ O (wt.%)	Rad. Ar ₄₀ (10E-8ccSTP/g)	K-Ar age (Ma)	Non Rad. Ar (%)
OKO-b1	S27-165	2.541±0.051	2.47±0.22	0.25±0.02	83.1
OKO-b2	S27-166	2.535±0.051	2.59±0.24	0.26±0.03	80.1
OKO-b3G	S27-164	2.556±0.051	3.81±0.56	0.38±0.06	90.1

4. 議 論

Fig. 2 に示すように、始良カルデラに関する噴出物は、ほぼ単一のマグマ分化トレンドを示す。このトレンドは他の元素についても近似的には成立する。この観察事実を説明し得る1つのメカニズムは、カルデラ下に存在する単一の玄武岩質マグマ ($\text{SiO}_2 \sim 50$ wt.%) がカンラン石・輝石・斜長石・磁鉄鋼・アパタイト・ジルコンを晶出し、これらの鉱物が系から取り除かれることによって結晶分化作用が進行した、とするものである。もちろん、時間経過と共にマグマの化学組成が一定方向に (SiO_2 が増えるセンス) に変化してはいないので、上述の単純な結晶分化モデルに少なくとももう1つのステップを加えねばならない。例えば、巨大な、従って長期間定温度近くに保たれる玄武岩質が存在し、これより派生した小マグマ溜り群内で、独立の結晶分化が進行している、というメカニズムも可能であろう。しかし、このメカニズムは初めに述べたように多量の玄武岩が地殻内に存在するという異常な状況を考えない限り不可能である。このメカニズムを化学組成の観点からもう少し詳しく見てみよう。Fig. 3 に SiO_2 wt.% の変化に伴う Rb/K 比の変化を示す。Rb, K の両元素は、鉱物に対する分配係数が小さいために、相互の比は結晶分化作用の進行によって大きく変化はしない。従って、結晶分化作用が始良マグマ群の化学組成の変化に重要な役割を果たしているか否かをチェックすることができるはずである。ところが、Fig. 3 で明らかなように、 SiO_2 と Rb/ K_2O 比は正の相関を示している。即ち、結晶分化作用が主な貢献をしているとするメカニズムは否定される。むしろ、 SiO_2 に関する両端成分、沖小島及び入戸火砕流流紋岩質マグマと玄武岩質マグマの混合によって、このトレンドが形成された可能性が高い。では、流紋岩質マグマはどのようにして発生したのであろうか？玄武岩質マグマより高い Rb/ K_2O 比と SiO_2 含有量を持つようなマグマの起源物質としては、角閃岩を考えることができる。何故ならば、角閃石とマグマ間の K の分配係数は Rb のそれに比して大きな値を有するからである。しかも角閃岩は、含水玄武岩又はガブロの組成を有し、下部地殻の構成物質であると考えて差し支えない。しかし、そのメカニズムでも説明できない元素もある。例えば、Fig. 2 で P_2O_5 , Nb のトレンドは、二成分の混合のみでは形成不可能である。下部地殻物質の部分融解程度の違いによるこれらの元素の選択的分別が効果的に作用したか、 SiO_2 含有量が 65–67 wt.% のマグマ下部地殻の部分融解で生成され、それより SiO_2 含有量の多い沖小島・入戸などのマグマは親マグマからの結晶分化作用で形成されたとの可能性もあるが、現時点では未だ結論を出すことはできない。

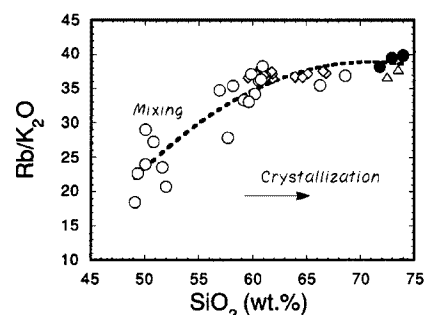


Fig. 3. Variation of Rb/ K_2O ratios with SiO_2 contents for Aira-related rocks. Symbols are same as those in Fig. 2. A broken line, a fitting line for post-caldera rocks, may represent a mixing line between mafic and felsic end members. Rhyolite magmas are characterized by their high Rb/K ratios possibly derived from partial melting of amphibolite in the lower crust.

参 考 文 献

- 1) Aramaki S: Formation of the Aira Caldera, Southern Kyushu, ~22,000 Years Ago, J. Geophys. Res., Vol. 89, No. B10, 1984, pp. 8485-8501.
- 2) Tatsumi Y: Migration of Fluid Phases and Genesis of Basalt Magmas in Subduction Zones, J. Geophys. Res., Vol. 94, No. B4, 1989, pp. 4697-4707.
- 3) 後藤 篤・巽 好幸: 蛍光 X 線分析装置による岩石試料の定量分析 (I), 理学電機ジャーナル, Vol 22, No. 1, 1991, pp. 28-44.
- 4) 後藤 篤・巽 好幸: 蛍光 X 線分析装置による岩石試料の定量分析 (II), 理学電機ジャーナル, Vol. 23, No. 2, 1992, pp. 50-69.
- 5) Ngago K and T. Itaya: K-Ar age determination, Mem. Geol. Soc. Jpn., Vol. 29, 1988, pp. 5-21.